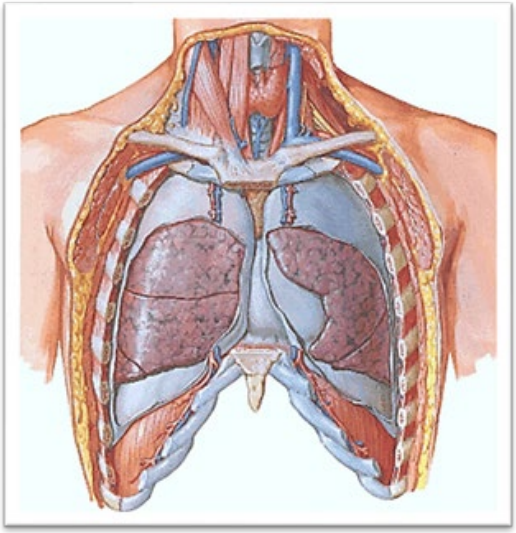
Fundamentos de la ventilación

Los pulmones



Los pulmones son dos órganos esponjosos en forma de cono que contienen alvéolos y atrapan el aire para el intercambio de gases. Su función principal es permitir que el oxígeno se mueva del aire a la sangre venosa y que salga el dióxido de carbono. Aunque el pulmón realiza otras funciones, su responsabilidad principal es intercambiar gas. El oxígeno y el dióxido de carbono (CO2) se mueven entre el aire y la sangre por difusión simple que es desde un área de presión parcial alta a baja. La Ley de difusión de Ficks establece que la cantidad de gas que se mueve a través de una lámina de tejido es proporcional al área de la lámina, pero inversamente proporcional a su grosor.

Las vías respiratorias consisten en una serie de tubos ramificados que se vuelven más estrechos, más cortos y numerosos a medida que penetran más profundamente en el pulmón. La tráquea se divide en bronquios principales derecho e izquierdo, que a su vez se dividen en lobular, luego bronquios segmentarios. El proceso continúa hasta los bronquiolos terminales, que son las vías respiratorias más pequeñas fuera de los alvéolos. Todos estos bronquios forman las vías aéreas conductoras. Su función es conducir a las regiones de los pulmones que intercambian gases. Como las vías aéreas conductoras no contienen alvéolos, no participan en el intercambio de gases. Los bronquiolos terminales se dividen en bronquiolos respiratorios, que tienen pocos alvéolos. Finalmente, llegamos a los conductos alveolares que están completamente revestidos con alvéolos. Esta área aliviada del pulmón donde se produce el intercambio de gases se llama zona respiratoria.

Durante la inspiración, el volumen de la cavidad torácica aumenta y el aire ingresa al pulmón. El aumento de volumen se produce en parte por la contracción del diafragma y en parte por las acciones de los músculos intercostales. Estas acciones musculares aumentan el tamaño de la cavidad torácica y el aire fluye debido a la presión reducida dentro del cofre (inhalación; regida por la ley de Boyle que establece que la presión de un gas es inversamente proporcional a su volumen). El aire inspirado fluye hacia los bronquiolos terminales por flujo masivo. Más allá de ese punto, el área de la sección transversal combinada de las vías aéreas es tan enorme debido a la gran cantidad de ramificaciones, que la velocidad de avance del gas se vuelve muy pequeña. La difusión de gas dentro de las vías aéreas se convierte en el mecanismo dominante de ventilación en la zona respiratoria.

Un aumento en el volumen torácico da como resultado una disminución en la presión intrapulmonar que hace que el aire sea expulsado de los pulmones (exhalación). El pulmón es elástico y regresa pasivamente a su volumen preaspiratorio durante la respiración en reposo. Es notablemente fácil de distender. Por ejemplo, una respiración normal de aproximadamente 500 ml requiere una presión de distensión de 3 cm de agua. Por el contrario, un globo puede necesitar una presión de hasta 30 cm de agua o el mismo cambio de volumen.
La sangre que necesita oxigenación ingresa a ambos pulmones a través de las arterias pulmonares (desde el corazón del ventrículo derecho). La sangre oxigenada sale de los pulmones a través de las venas pulmonares hacia el corazón, sale de la aurícula. El aire inspirado a través de la nariz pasa a través de la tráquea y los bronquios, y finalmente ingresa a los bronquiolos terminales que suministran los alvéolos o sacos de aire, cada uno de 0,2 mm de diámetro. Se estima que 300 millones de alvéolos están contenidos en los pulmones, generando hasta 50 metros cuadrados de superficie interna con un volumen pulmonar de 3000 ml.

Esto da lugar a una capacidad pulmonar total de:

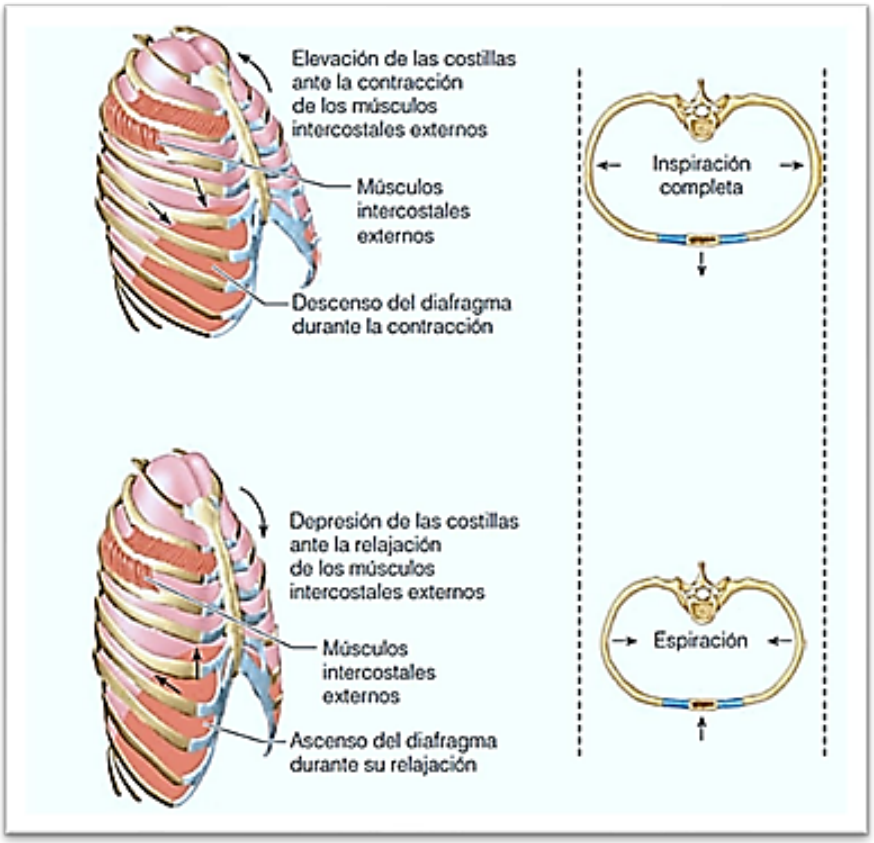
- 3.6 litros a 9.4 litros en un hombre adulto.
- 2.5 litros a 6.9 litros en una mujer adulta.

Respiración

La respiración es el intercambio de gases entre un organismo y el medio en el que vive. La respiración interna es el intercambio de gases entre el torrente sanguíneo y las células cercanas.

La mecánica de la respiración.

La inspiración resulta de la contracción del diafragma y los músculos intercostales. La caja torácica se balancea hacia arriba y hacia afuera. La cavidad agrandada que aloja los pulmones sufre una reducción de presión (-3 mm Hg) con respecto a la presión existente fuera del cuerpo. Como los pulmones son pasivos (sin tejido muscular), se expanden debido a la presión externa positiva.
Por ejemplo, si la presión ambiental es de 760 mm Hg, la presión pulmonar es de 757 mm Hg tras la inspiración.
La expiración resulta de la relajación del diafragma y los músculos intercostales. La caja torácica se mueve hacia adentro y hacia abajo. El retroceso elástico de los pulmones crea una presión intrapulmonar más alta que la atmosférica (más 3 mm Hg) que fuerza el aire a salir de los pulmones.



Parámetros de respiración.

- **Volumen tidal.** El volumen de gas inspirado o expirado durante cada ciclo respiratorio. Típicamente 500 ml.

- **Volumen de reserva inspiratoria.** La cantidad máxima de gas que puede inspirarse desde la posición de aspiración final.

- **Volumen de reserva espiratoria.** Cantidad de aire que se puede expulsar de los pulmones después de la espiración normal Típicamente 1200 ml

- **Volumen residual.** El volumen de gas que queda en los pulmones al final de una espiración máxima. Típicamente 1200 ml.

- **Capacidad total.** La cantidad de gas contenido en el pulmón al final de una inspiración máxima.

- **Capacidad vital.** El volumen máximo de gas que puede ser expulsado de los pulmones después de una inspiración máxima. Volumen corriente, más el volumen de reserva inspiración, más el volumen de reserva expiración. Típicamente 4800 ml.

- **Capacidad inspiratoria.** El volumen máximo de gas que puede inspirarse desde la posición espiratoria en reposo. Típicamente. 3600 ml.

- **Volumen de reserva inspiratorio.** Volumen adicional que puede inspirarse después de una inspiración normal. Típicamente 3100 ml.

- **Capacidad residual funcional.** El volumen de gas que queda en los pulmones en la posición final espiratoria de reposo. Típicamente 2400 ml.

- **Volumen minuto.** El volumen total de aire ventilado durante un período de un minuto. Debe ser calificado ya sea inspiratorio o espiratorio

- **Ventilación voluntaria máxima.** El volumen máximo de aire que se puede ventilar por minuto (también denominado Capacidad de respiración máxima).

- **Capacidad pulmonar total.** Cantidad de gas contenido en los pulmones al final de la inspiración máxima Típicamente 6000 ml.

- **Conformidad pulmonar.** (El cambio de volumen pulmonar por unidad de cambio de presión). Esencialmente, la distensibilidad pulmonar es la capacidad de los alvéolos y el tejido pulmonar de expandirse en la inspiración. En términos clínicos, se define como el aumento de volumen en los pulmones por unidad de aumento en la presión pulmonar. Aunque claramente no es una descripción completa de las propiedades de presión-volumen del pulmón, es útil en la práctica como medida de la rigidez comparativa del pulmón. Cuanto más rígido es el pulmón, menor es el cumplimiento. El cumplimiento se reduce por enfermedades que causan una acumulación de tejido fibroso en el pulmón o por edema en los espacios alveolares. Se incrementa en el enfisema pulmonar y también con la edad, probablemente debido a alteraciones en el tejido elástico en ambos casos.

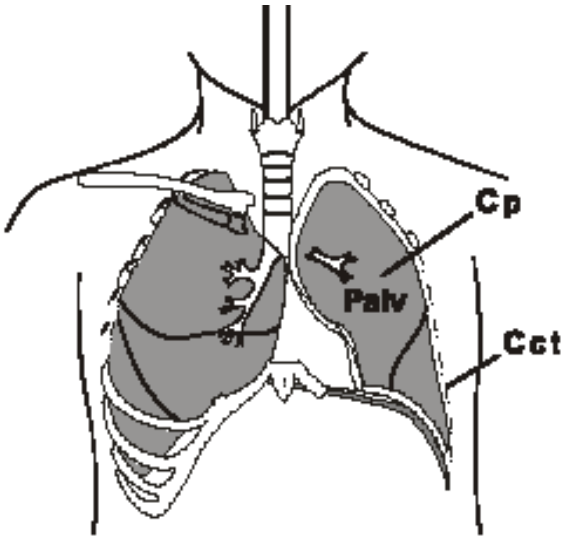
Hay dos tipos de cumplimiento, estático y dinámico.

La conformidad estática del pulmón es el cambio en el volumen para un cambio dado en la presión transpulmonar con flujo de gas cero. Las mediciones de cumplimiento dinámico se realizan mediante el monitoreo del volumen corriente utilizado, mientras que las mediciones de presión intratorácica se toman durante el caso de flujo de aire cero que ocurre al final de los niveles de inspiración y espiración con cada respiración.

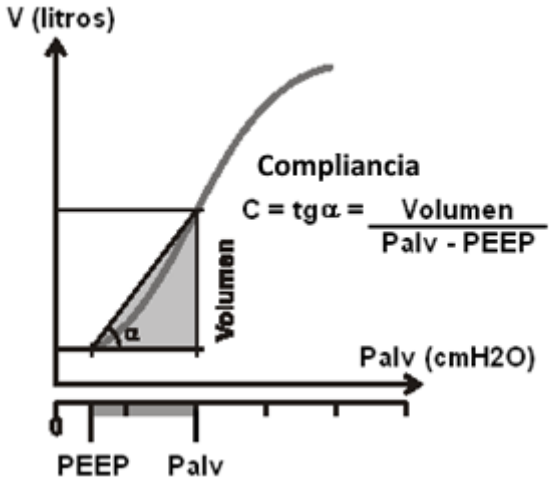
El cumplimiento pulmonar varía con el tamaño de los pulmones; un niño tiene un cumplimiento menor que un adulto. Además, la curva de volumen-presión no es lineal, por lo tanto, el cumplimiento no permanece constante. Afortunadamente, en el rango de volumen corriente en el que generalmente se realizan mediciones de cumplimiento dinámico, la relación es aproximadamente lineal y se supone un cumplimiento constante. Los valores de cumplimiento se dan en litros por cm de agua.

Resistencia de las vías respiratorias

La resistencia de la vía aérea se relaciona con la facilidad con la que el aire fluye a través de las estructuras respiratorias tubulares. Se produce una mayor resistencia en tubos más pequeños como bronquiolos y alvéolos que no se han vaciado correctamente. Es una analogía neumática de resistencia hidráulica o eléctrica (R = V / I) y, como tal, es una relación de presión a flujo. Por lo tanto, para la determinación de la resistencia de la vía aérea, se requieren mediciones de presión intraalveolar y flujo de aire. Como fue el caso del cumplimiento, la resistencia de la vía aérea no es constante durante el ciclo respiratorio. A medida que la presión en la cavidad torácica se vuelve más negativa, las vías respiratorias se ensanchan y la resistencia disminuye. Por el contrario, durante la espiración, cuando la presión en el tórax se vuelve positiva, las vías respiratorias se reducen y aumenta la resistencia. La presión intraalveolar se da en cm de agua y el flujo en litros por segundo;



$$1/C = 1/Cp + 1/Cct$$



Ecuación de movimiento

Pva = Pres + Pel + PEEP

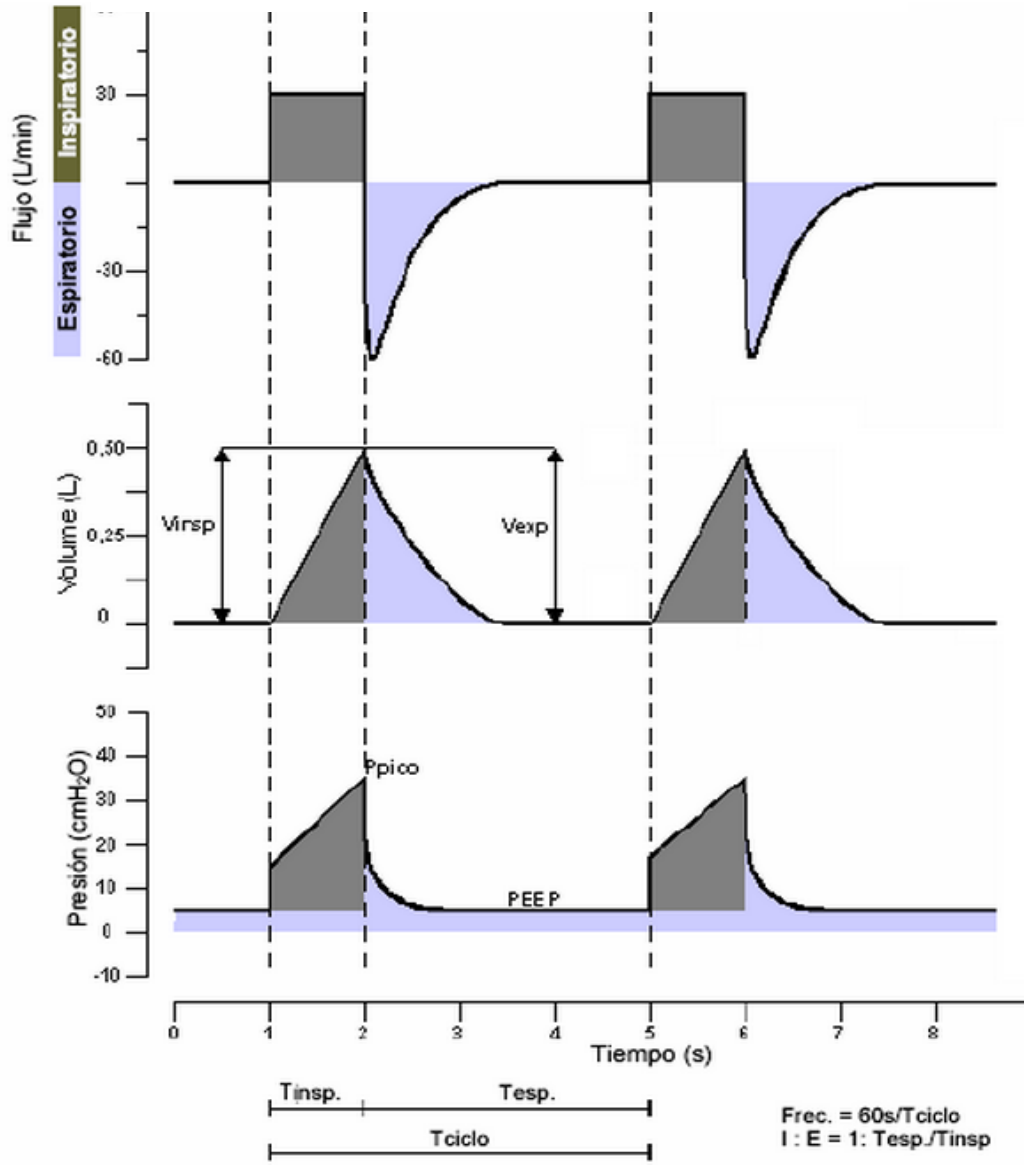
Pva = Rva.flujo + Vol/Csr + PEEP

Curvas respiratorias

Se utilizan curvas de flujo, presión y volumen en el tiempo para tener un análisis detallado del funcionamiento del ventilador.

- **Paw, flujo y volumen obtenido como la integral del flujo.**
- **Parámetros importantes:**

▪ Vcorriente	= 0,5l
▪ Ppico	= 35cmH2O
▪ PEEP	= 5cmH2O
▪ Frespiratoria	= 15 resp/min
▪ Tinspiratorio	= 1s
▪ Tespiratorio	= 3s
▪ Relación I:E	= 1:3
▪ Volumen minuto	= Vc x Fresp = 7,5l/min



Elasticidad pulmonar

La elasticidad pulmonar es la capacidad de los tejidos elásticos pulmonares de retroceder durante la espiración. Los pulmones deben volver al estado de reposo fácilmente para garantizar la suficiente extracción de gas. La presión intratorácica es la presión positiva y negativa que ocurre dentro de la cavidad torácica. Estos son críticos para la inspiración adecuada (presión interna negativa) y la espiración (presión interna positiva). La presión intraalveolar es importante para mantener la respiración adecuada y el intercambio de gases hacia y desde la sangre.

Solo una parte del aire que ingresa al sistema respiratorio llega a los alvéolos. El volumen de aire que no está disponible para el intercambio de gases con la sangre reside en los espacios conductores, conocido como 'aire muerto' y llena espacios muertos que constan de 150 ml.

Ventiladores pulmonares para pacientes

Los ventiladores pulmonares de los pacientes se conectan a las vías respiratorias de los pacientes y están diseñados para reemplazar o aumentar la ventilación de los pacientes automáticamente. Se usan con una máscara, un tubo endotraqueal (dentro de la tráquea) o un tubo de traqueotomía (a través de una abertura artificial en la tráquea a través de la garganta).

La mayoría de los ventiladores tienen presión positiva durante la inhalación para inflar los pulmones con varios gases o mezclas de gases (aire, oxígeno, dióxido de carbono, helio). La caducidad suele ser pasiva, aunque bajo ciertas condiciones también se puede aplicar presión durante la fase espiratoria, para mejorar la tensión arterial de oxígeno. Solo en raras circunstancias se utiliza presión negativa de la vía aérea durante la ventilación.

La mayoría de los ventiladores funcionan en cualquiera de los tres modos

	TIPO DE CICLO		
MODO	Controlado	Asistido	Espontáneo
Controlado	X		
Asist./Cont.	X	X	
SIMV	X	X	X
CPAP			X

- Modo asistente
- Modo controlador
- Modo asistente / controlador.

Estos tres modos difieren solo en el método por el cual se inicia la inspiración.

- **Modo de asistencia:** el paciente activa la inspiración. Un sensor de presión responde a la leve presión negativa que ocurre cada vez que un paciente intenta inhalar, los disparadores del equipo empiezan a inflar los pulmones. Por lo tanto, el ventilador ayuda al paciente a inspirar cuando quiere respirar. Se proporciona un

ajuste de sensibilidad para seleccionar la cantidad de esfuerzo del paciente requerido para activar el ventilador. El modo de asistencia se utiliza para pacientes que pueden controlar la respiración, pero no pueden inhalar una cantidad suficiente de aire sin ayuda, o para quienes la respiración requiere demasiado esfuerzo (es decir, asmáticos, neumonía pulmonar, etc.)

- **Modo controlador:** la respiración se controla mediante un temporizador configurado para proporcionar la frecuencia de respiración deseada. Se requiere ventilación controlada para pacientes que no pueden respirar solos. En este modo, el ventilador tiene un control completo sobre la respiración del paciente y no responde a ningún esfuerzo respiratorio por parte del paciente.

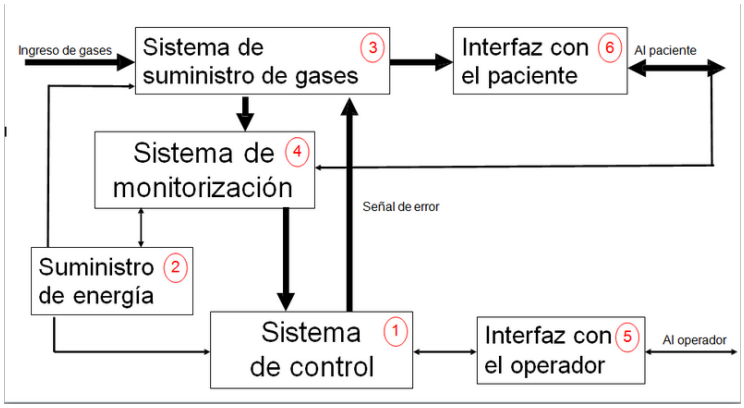
- **Modo asistente / controlador:** el ventilador normalmente se activa cuando el paciente intenta respirar (como en el modo asistente). Sin embargo, si el paciente no puede respirar dentro de un tiempo predeterminado, un temporizador activa automáticamente el ventilador para inflar los pulmones. Por lo tanto, el paciente controla su propia respiración todo el tiempo que puede, pero si no lo logra, el equipo puede hacerse cargo de él. Por otro lado, este modo puede usarse para alejar al paciente de la ventilación controlada. Si el paciente intenta respirar durante la ventilación controlada, el equipo detectará el intento y operará en el modo de asistencia inmediatamente, independientemente de la parte de la fase de control que haya alcanzado.

Los ventiladores en uso clínico se pueden clasificar en dos grupos principales:

- Presión ciclada
- Volumen ciclado.

Presión cíclica, presión positiva, tipo controlador o asistente / controlador.

Este dispositivo se alimenta neumáticamente desde una fuente de gas y no requiere energía eléctrica.



El equipo de esta categoría puede contener un compresor alimentado eléctricamente o puede usarse con un compresor separado para comenzar la ventilación con aire ambiente. El tiempo para la operación en el modo controlador se logra al llenar una cámara con un gas y dejar que se purgue a través de una válvula de aguja ajustable. Los ventiladores de ciclo de presión pueden ser bastante pequeños, pero al mismo tiempo pueden incorporar todo el equipo necesario para controlar el flujo de gas, aire mixto y oxígeno, detectar los esfuerzos de los pacientes para inspirar, terminar la inspiración cuando se alcanza la presión deseada, permitir el ajuste de la sensibilidad del mecanismo de disparo y el nivel de presión deseado, e incluso generar presión negativa para ayudar a la espiración de algunos dispositivos.

Ventiladores de volumen ciclado. Usan un pistón o un fuelle para dispensar un volumen controlado con precisión para cada respiración. En el entorno de cuidados intensivos donde los pacientes tienen anormalidades pulmonares y requieren volúmenes calculados (derivados del análisis de gases en sangre) y concentraciones de gases, se prefiere este tipo de ventilador. Es mucho más grande que el ventilador operado neumáticamente y operado eléctricamente para proporcionar un grado mucho mayor de control sobre la ventilación que los tipos de ciclo de presión. La mayoría de los equipos con ciclos de volumen tienen límites de presión ajustables y alarmas de seguridad. Además, su disposición para ajustar los límites de presión, y los tiempos de inspiración y espiración, se pueden usar junto con el ajuste de volumen para garantizar la función pulmonar terapéutica en el paciente que más lo necesita.

Otras características disponibles pueden incluir un humidificador y capacidades opcionales para presión negativa y presión espiratoria final positiva (PEEP)

Ventilación no invasiva (CPAP / BIPAP). Uso de CPAP y BIPAP

Hay evidencia de que CPAP (presión positiva continua en las vías respiratorias) y BIPAP (presión positiva en las vías respiratorias de dos niveles) son eficaces para prevenir la necesidad de intubación y también para disminuir la mortalidad en pacientes con insuficiencia respiratoria aguda en pacientes seleccionados adecuadamente.

El tratamiento no invasivo no implica el uso de cirugía para proporcionar asistencia respiratoria; se basa en el uso de máscaras y boquillas para suministrar aire.

BIPAP difiere de CPAP en que la presión durante el vencimiento puede ajustarse por separado de la presión administrada durante la inspiración. Esta capacidad de establecer presiones independientes durante la inhalación y la espiración da como resultado presiones de vía aérea promedio más bajas que las producidas por CPAP nasal.

Bi-PAP significa presión positiva de las vías respiratorias de dos niveles. El uso de máquinas Bi-PAP a menudo se denomina ventilación con mascarilla no invasiva. Esto se debe a que la tráquea no está intubada, por lo que hay menos trauma en las vías respiratorias y, lo que es más importante, hay una menor incidencia de infecciones nosocomiales.

CPAP entrega una presión de aire positiva continua, con mayor frecuencia a unos 10 cm de agua. Esto se administra durante todo el ciclo respiratorio y se ha descrito como similar a la respiración con la cabeza fuera de un automóvil en movimiento. Continuo significa que la presión entregada al paciente es la misma para cualquier respiración. C-PAP en realidad puede aumentar el trabajo de la respiración y ser letal para algunos pacientes.

BIPAP (Bilevel) significa que la presión varía durante cada ciclo de respiración. Cuando el usuario inhala, la presión es similar a la C-PAP. Cuando exhalan, la presión cae, lo que hace que sea mucho más fácil respirar. Inhala, aumenta la presión, exhala, baja la presión. BIPAP ofrece CPAP, pero también detecta cuándo se está realizando un esfuerzo inspiratorio y genera una mayor presión durante la inspiración. Cuando se detiene el flujo, la presión vuelve al nivel de CPAP. Esta onda de presión positiva durante las inspiraciones descarga el diafragma disminuyendo el trabajo de respiración. Esta forma de ventilación se ha utilizado durante años en pacientes con insuficiencia respiratoria crónica debido a problemas neuromusculares o anomalías de la pared torácica. En pacientes con insuficiencia respiratoria, una técnica común es comenzar con el nivel espiratorio a 5 y el nivel inspiratorio a 15.

A medida que el uso de máquinas BIPAP ha aumentado, su costo ha bajado. También hay más tipos de máscaras disponibles y esto ha mejorado la comodidad y el cumplimiento del paciente Bi-PAP es una marca registrada de Respironics, Inc. Otros fabricantes fabrican máquinas VPAP y Bilevel que ofrecen esta misma característica básica.
A veces verá un "ST" detrás de Bi-PAP, VPAP o Bilevel. El ST significa Tiempo espontáneo. Esto significa que, si el usuario no respira por sí mismo, la máquina iniciará una respiración por ellos. Esta característica es muy útil en el tratamiento de la apnea central del sueño y una serie de trastornos pulmonares.
Para aquellos pacientes que acuden al servicio de urgencias con insuficiencia respiratoria aguda, pero con niveles normales de conciencia, sin problemas importantes de secreción y que son hemodinámicamente estables, se podría intentar un ensayo de BIPAP o CPAP antes de considerar la intubación y un ventilador mecánico.

Referencias

depts.washington.edu/uwmedres/program/itc/ventilators.pdf
www.corexcel.com/courses/body_vent5.htm
http://www.books.md/L/dic/lungcompliance.php
www.cyber-north.com/anatomy/respirat.htm
http://www.inforesp.org/about%20ventilation.htm
Xavier Pardell Peña (técnico electromedicina).

Xavier Pardell